

二级生化出水用于地下回灌示范工程的研究

侯国华^(1,2), 赵璇⁽¹⁾, 侯文华⁽²⁾, 王建龙⁽¹⁾, 云桂春⁽¹⁾, 甘一萍⁽³⁾

(1)清华大学,核能研究院环境技术实验室 (2)环科院,生物工程实验室 (3)北京市排水集团

摘 要 本文以北京市高碑店污水处理厂地下水回灌示范工程为背景,研究了二级生化出水经粉末活性炭吸附+聚合氯化铝混凝沉淀过滤工艺预处理后用作地下回灌的综合水质指标,并深入分析了整套工艺的去 除机制。结果表明在粉末活性炭投加量为 20-30mg/L,聚合氯化铝为 50-60mg/L 时,DOC 的去除率约为 40%。其中吸附和混凝工艺能分别去除约 10%和 30%,这很可能是由于混凝剂的浓度是活性炭的两倍。活性炭吸附的主要是低分子量的有机物质,而聚合氯化铝去除的主要是高分子有机物质。AOX 的去除完全依靠活性炭的吸附,混凝沉降几乎对其没有什么作用,而对于磷酸根则恰好相反。总氮的去除可能是在活性炭吸附池 搅拌而吹脱氨气所致。本文最后讨论了回灌池地下水回灌工程,回灌池里 DOC 浓度可增加 1-5mg/L,基本上 是可生化降解;从监测井和背景值的水质分析表明,回灌水仍然没到达取水井。得出的结论是粘土层吸附了大量 的回灌水,但是还没有抵达第一个含水层。

关键词: 示范工程;地下水回灌;粉末活性炭;聚合氯化铝;吸附;混凝;回灌池;监测井

Demonstration Project of Artificial Groundwater Recharge Using Effluent from Traditional Activated Sludge Process

Abstract Based on Demonstration Project of Groundwater Recharge in Beijing Gaobeidian Sewage Treatment Plant (BGSTP), secondary effluent of traditional Activated Sludge Process (BGSTP effluent) was treated with the process of Powdered Activate Carbon (PAC) Adsorption, Coagulation with Polyaluminum Chloride (PACl), Sedimentation and Sand Filtration for groundwater recharge. As the applied dosage is low (20-30 mg/L PAC), removal of DOC is only low (about 10%) by PAC adsorption. played an important role in the reduction of DOC, which is about 30% or more. The main reason for this may be the dosage of PACl (50-60mg/L) was twice that of PAC. AOX was mainly removed by PAC adsorption, Coagulation with PACl almost didn't react with AOX, while it was just on the contrary to PO₄-P. The removal of total nitrogen may be due to blowing of NH₃ by the stirrer in the PAC adsorption tank. Followed that, a discussion of Basin Groundwater Recharge Engineering, the results showed that water quality in recharge basins was a little changed. the concentration of DOC could increase about 1 mg/L to 5 mg/L due to algae growth and are expected to be readily biodegradable. Based on the comparison of Monitoring Wells and Background Well water quality, it could be concluded that the infiltrated water hasn't reached the extraction well. Our assumption is that a great amount of the recharged water was adsorbed by the clay layer, but has not yet entered the upper aquifer.

Key Words: Demonstration Project, Groundwater recharge, Powdered Activate Carbon, Polyaluminum Chloride, Adsorption, Coagulation, Recharge basin, Monitoring Well

参加本研究的还有:胡俊,张猛,成徐州,皮运正, Schumach..., 等。

项目来源:中德国际合作项目“城市污水回用于地下回灌技术的开发”

前言

根据中德合作项目计划,清华大学核研院和北京市排水集团合作在北京高碑店污水处理厂建立了城市污水回用于地下回灌的示范工程。人工地下水回灌时,有两种常见的做法:(1)在土壤渗透前污水须经

深度处理达到饮用水水质,因此从地下提升出来的水,可以不受限制地应用。(2)污水在土壤处理前只部分净化,废水中的污染物有控制地渗入土壤中,通过土壤渗滤借助于物理化学和生物过程起到的净化作用,即通常所说的土壤含水层处理(Soil Aquifer Treatment, SAT)。当考虑到土壤含水层处理时,在污水回用中地下水回灌成为标准处理技术的一种有效的补充。示范工程采用的是第二种做法。

SAT 指发生在土壤(非饱和/渗透区)和/或在含水层内(饱和区)进行的处理过程。SAT 基本的方法是处理后回灌池里的水高速渗入地下,通过渗滤区的处理和与原地下水混合提高水质^[1]。SAT 的先驱性工作是在亚利桑纳州凤凰城 Bower 和他的助手们完成的,(Bower, 1985 and 1989)。他们认为 SAT 能去除悬浮物、病原微生物和降低氮和磷的浓度。重金属和微量元素也能够通过吸附和沉降得到有效的控制。Bower's 的经验表明通过 SAT 处理后的回用水达到了灌溉的一般要求。对于有机物质,目前的观点认为,对于经过传统处理工艺后的剩余有机物会显著影响回用地下水取水点总有机碳(Total Organic Carbon, TOC)的含量^[2]。而且难降解 TOC 还有可能导致有机污染物和痕量金属在地下的迁移(Chiou et al., 1986),同时也是形成消毒副产物的前提物质,所以有机物质成为城市污水地下回灌的优先控制指标^[3]。并且 TOC 或 DOC 还是实际可行的量化剩余有机物质和衡量有机物质去除效率的参数,因此也被应用于水回用的有关规定中。而对于 AOX 是可吸附的有记卤化物总称,包括有机氯、有机溴、有机碘化物,同水中的其它卤化物一样,它不仅具有致癌和致突变性,而且一般不存在于天然水体,是人为污染的标志^[4]。

1. 实验材料和方法

1.1 高碑店二级生化出水水质

北京市高碑店污水处理厂采用传统的二级生化处理工艺。一级处理由曝气沉砂和平流式沉淀池组成,二级处理由曝气池和二沉池形成,采用鼓风曝气活性污泥法,出水 BOD < 20mg/L, SS 小于 30mg/L^[4]。在实验期间,以综合指标表示的有机物质和营养元素的水质状况(见表 1)。BOD5 在 10mg/L 左右。经过生化处理后的出水可生化性较差。总氮主要是由硝酸盐氮组成,其中氨氮波动较大从小于 1mg/L 到小于 20mg/L 不等。

1.2 实验材料

粉末活性炭(Powdered Activate Carbon, PAC)采用山西新华化工厂提供的 FJ074 型粉末活性炭;聚合氯化铝(Polyaluminum Chloride, PACl)采用东北石油廊坊华墨石油化工厂提供的液体改型聚合氯化铝(铝含量大于或等于 10%)。

1.3 分析方法

分析方法主要依据国家环保局编的《水和废水检测分析方法》(第三版)。DOC:燃烧氧化——非分散红外吸收法,SHIMADOL TOC-5000;TN:过硫酸钾氧化——紫外分光光度法;TP:氧化亚锡还原光度法;AOX IDC-analysystem AOX-3 测定仪,液相色谱有机碳探测信号,LC-OCD 仪器;UV254 采用岛津 UV3100 型紫外可见近红外分光光度计测定。

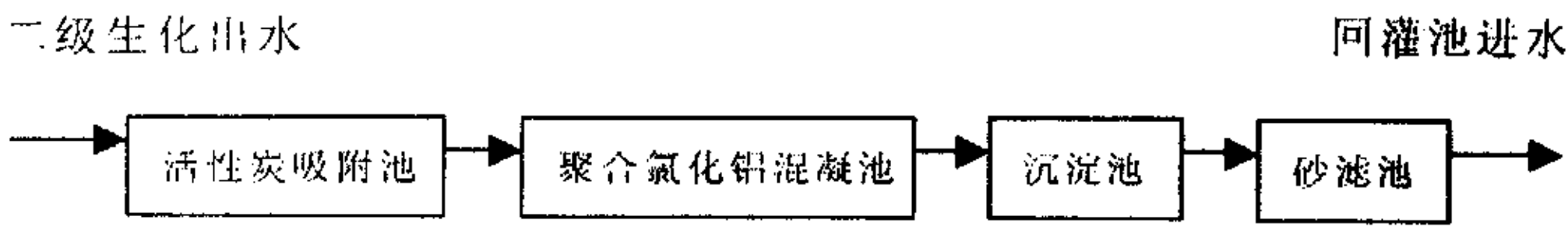
2 预处理

北京市高碑店污水处理厂地下水回灌示范工程包括二级生化出水回灌预处理和回灌池地下回灌工程两个部分。

	DOC mg/L	TN mg/L	TP mg/L	AOX μg/L
二级生化出水	15	28.3	1.7	40
回灌池进水	9	27	0.3	15

2.1 预处理工艺预处理采用了粉末活性炭(PAC)吸附+混凝沉淀过滤工艺,包括活性炭吸附池(直径:180,有效高度:195)、聚合氯化铝混凝池(直径:108,有效高度:195)、沉淀池(直径:360,有效高度:70)、砂滤池(长×宽×高=100×100×180),填充高度:120),单位以厘米计。二级生化出水直接进入吸附池,活性炭吸附后,进入混凝池与聚合氯化铝发生混凝反应,再经沉淀池和砂滤出水进入回灌池。活性炭和聚合氯化铝分别用计量泵直接打入相应的反应池。本工艺的特点是活性炭吸附和混凝分别在两个

不同的反应池里进行,可分别控制吸附和混凝反应,在吸附池里粉末活性炭能最好的行使吸附职能,并且在随后的混凝池里,粉末活性炭能轻易附着于矾花的表面而分离。这样避免了吸附与混凝的竞争,可以获得满意的效果。



2.2 运行参数

稳定运行后,水量为 70 – 120m³/天,吸附池活性炭浓度为 30 – 50mg/L,停留时间为 1 小时;混凝池聚和氯化铝的投加量为 50 – 60mg/L,停留时间为 20 分钟;沉淀池停留时间为 2 小时。与小试结果不同的是,当水量增大,沉淀池的停留时间小于 2 小时时,活性炭很难沉降,随水溢流到砂滤池。可能是因为活性炭和聚合氯化铝形成的矾花比重小于水,稍有水力搅拌马上会浮出水面。

2.3 水质分析

进出水水质

出水 DOC 随进水的波动而稍有变化,但基本稳定在 10mg/L 左右,平均除率为 40%。在此活性炭浓度范围,比小试实验结果小 10 个百分点。对 TP 的去除最好,平均去除率高达 85%,而且抗负荷冲击能力比较强。而对总氮几乎没什么去除效果。对总氮有限的去除可能是由于在吸附池里搅拌而发生的吹脱作用(表 1)。

2.4 处理机制

1) PAC 吸附反应

粉末活性炭在以膜生物反应器(德国柏林)和传统的二级生化处理出水(BGSTP 出水)的等温吸附线证明了活性炭良好的吸附行为(未列出)。由于活性炭用量较少(20 – 30 mg/L PAC),所以 DOC 的去除也不高。有机碳色谱探测信号表明,减少的主要是低分量的 DOC(图 2)。多聚糖没有被活性炭吸附。通过 PAC 的预处理 AOX 能够降低 74%(表 2)。应用的 PAC 的 AOX 的本底值研究表明活性炭不含有机卤化物(数据没列出)。

表 2

样品	DOC	UV	PO4 – P	NO2 + NO3 – N	AOX ges	als CL
编号	说明	[mg/L]	[254nm]	[μg/L]	[mg/L]	[μg/L]
1	二级生化出水	7	13.99	1549.81	15.5	43.97
2	吸附后出水	5.9	10.63	1594.46	17.5	11.54
3	混凝后出水	3.9	6.64	7.86	14.8	12.31
4	回灌池	4.8	8.77	12.2	19.9	13.13
5	6 号井	2.4	4.66	0.84	14.1	13.69
6	4 号井	2	3.62	7.86	4.6	3.38
7	5 号井	2	3.75	4.58	3.7	1.11

注:混凝后出水取自砂滤后出水,即回灌池进水

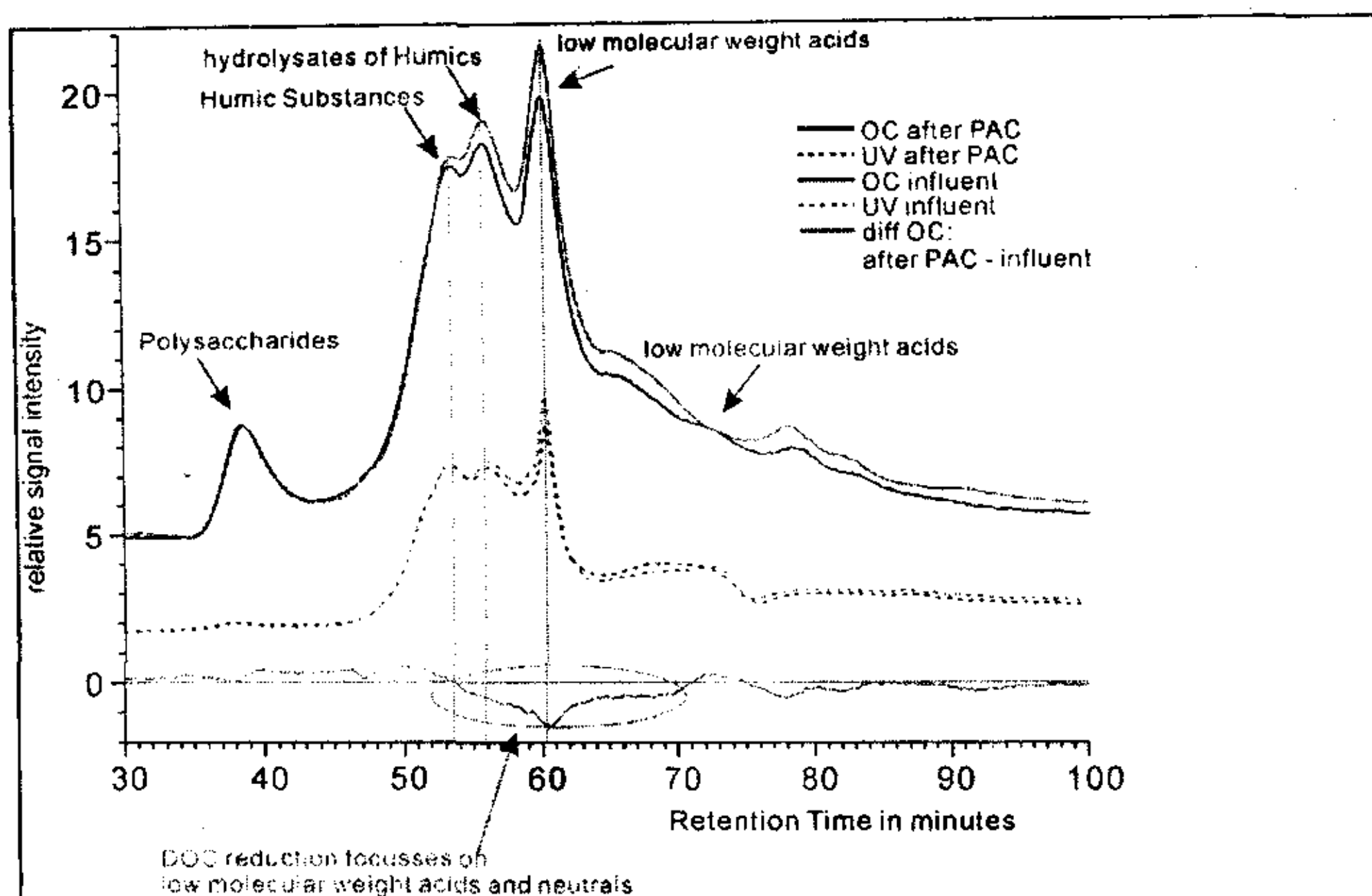


图 2 二级生化出水 and 吸附出水液相色谱有机碳探测信号比较

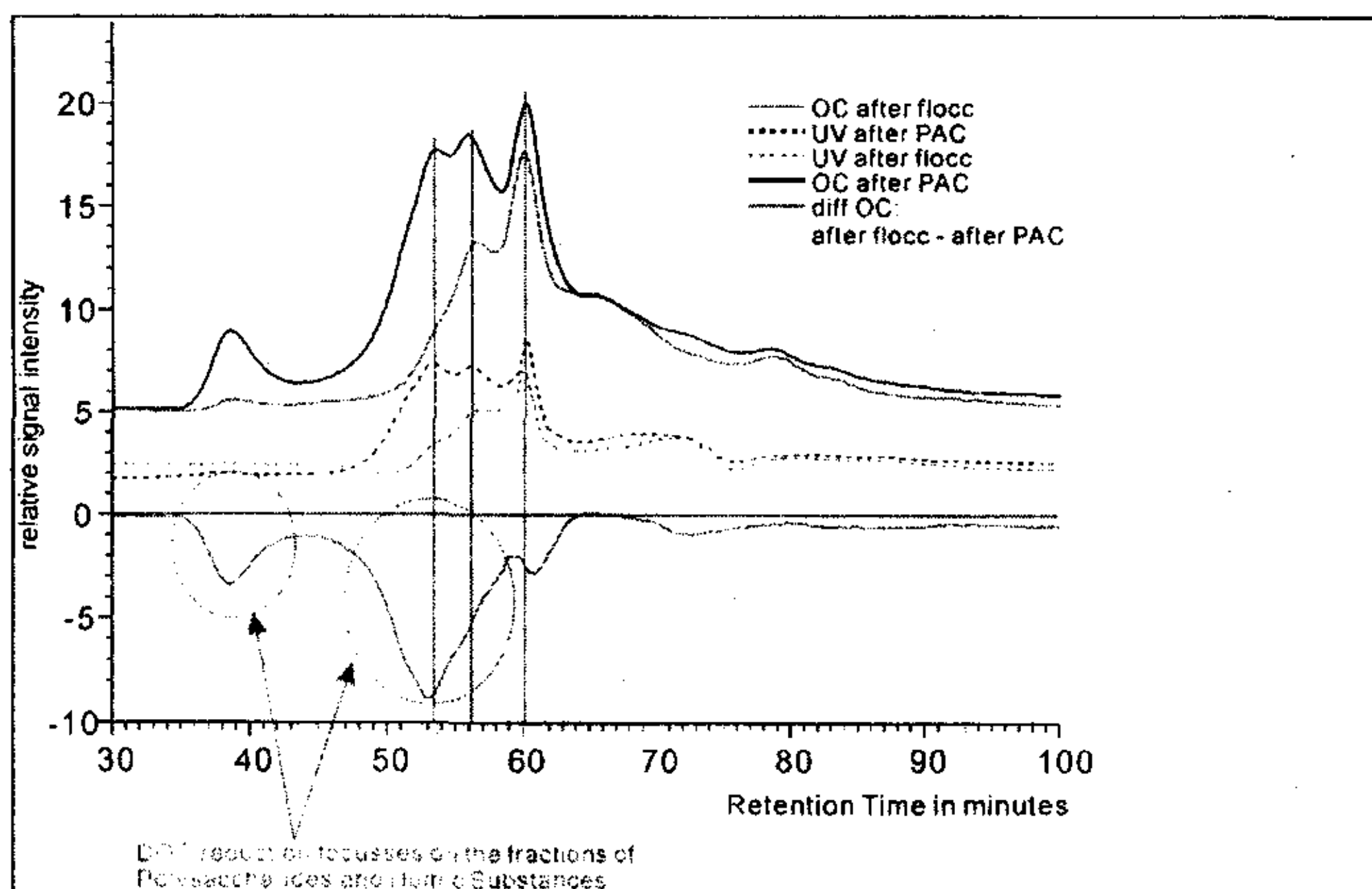


图 3: 吸附后出水和混凝后出水液相色谱有机碳探测信号比较

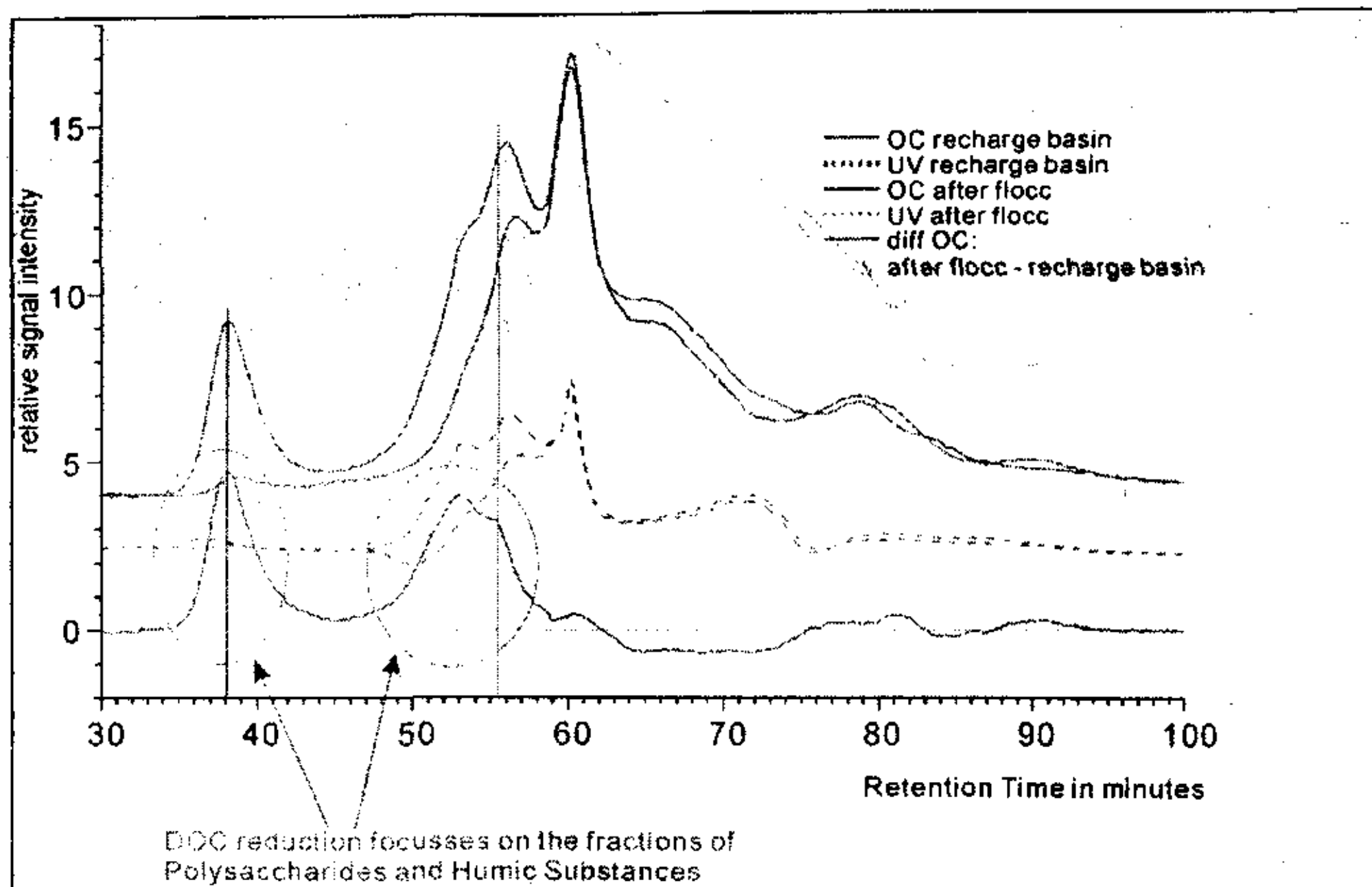


图 4: 混凝后出水和回灌池液相色谱有机碳探测信号比较

2) 聚合氯化铝混凝沉淀

在搅拌器关闭 24 小时后, 反应器内布满矾花时取样。混凝对于 DOC 的去除起着重要的作用, 从 5.9mg/L 降低到 3.9mg/L, 去除率高达 34%。有机碳色谱探测信号表明

(图 3) 多聚糖已经被完全去除。别的高分子量有机物质(腐殖酸)也去除不少。混凝对 AOX 没有什么去除效果。这与以前的研究混凝剂 DOC 的去除率一般为 10% 相差 20 个百分点, 主要原因可能是在试

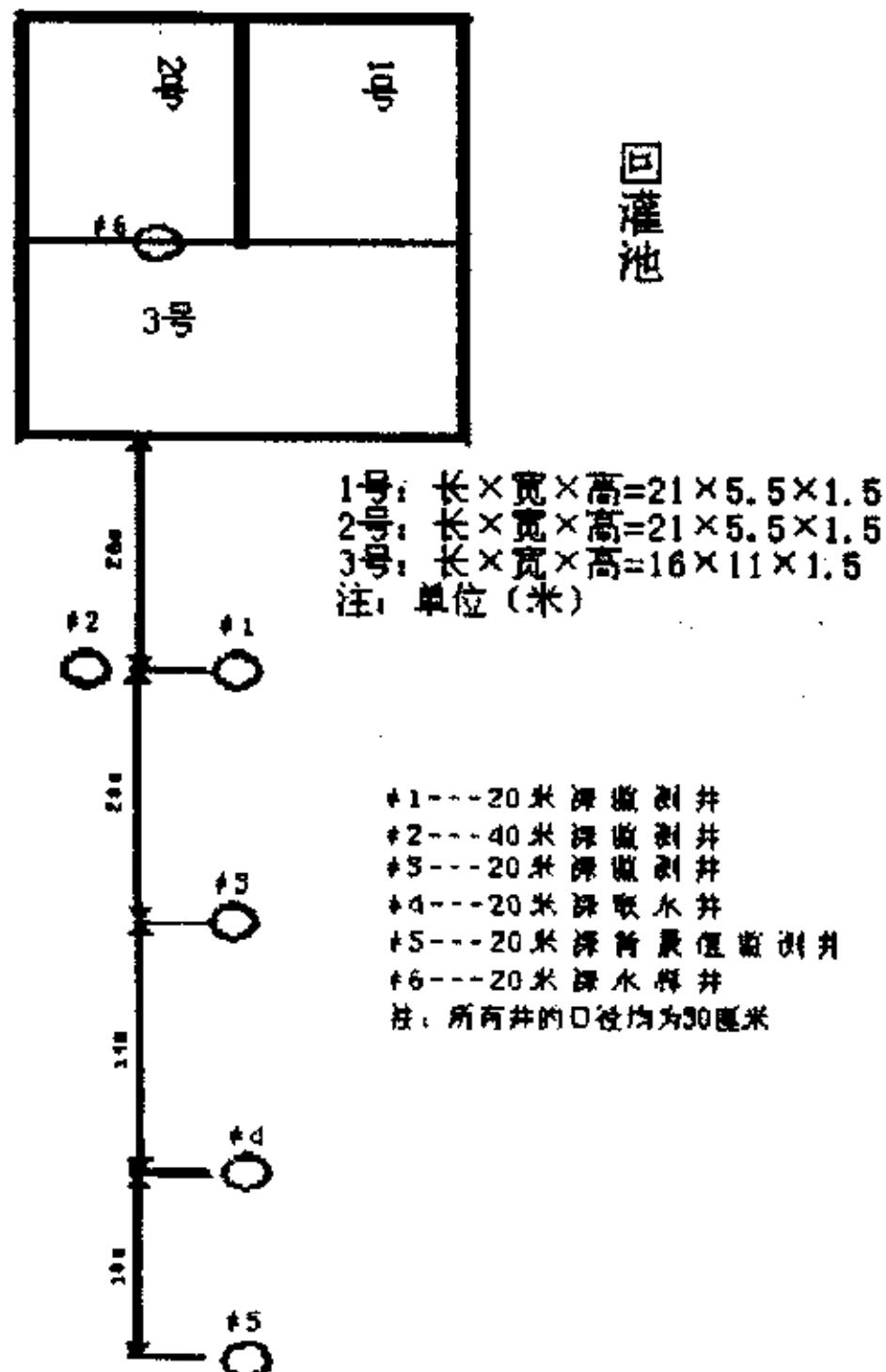


图 5 回灌池及监测井布局图(监测井直径为 30cm)

验期间, 因为粉末活性炭不易沉降而加大了 PACl 的投药量(高达 50-60PPM)

3. 回灌池地下水回灌工程

回灌池和监测井的布局(图 5)。回灌池采用干湿交替运行,干湿比位 1:1,即湿十五天,干十五天。总回灌天数两个半月,回灌水量 1800m³,平均渗透速率为 12cm/天。其中 4 号井为取水井,5 号为背景值,6 号为回灌池中间的监测井,反应最为灵敏。

3.1 回灌池

回灌池里由于长满绿藻和蒸发降雨等其它因素的影响,回灌池水质有所变化。绿藻对 DOC 的供献约为 1 mg/L 到 4.8 mg/L。有机碳色谱探测信号表明(图 4)DOC 浓度的升高的部分是多聚糖和从腐殖质里洗脱出来的物质。所以新增加的腐殖酸和多聚糖应该是可生物降解的。

硝酸盐和磷酸根离子的增加可能是由于渗透速率低(约 0.5cm/h),再加上北京夏季天气炎热,水分的蒸发导致的。

3.2 监测井

4 号取水井和 5 号背景值井的水质参数基本相同,所以说明回灌水还没有到达取水井。与 4 号取水井和 5 号背景值井相反的是,6 号监测井的硝酸盐和 AOX 都有所增加(约 10PPM),DOC 稍微有点增加(0.4PPM)。这表明回灌水部分到达了 6 号井的底部。至于 UV 和磷酸根离子显著低于回灌水,与背景值相比没有什么变化。可能时由于粘土层吸附了大量的回灌水,而没有抵达第一个含水层。

4 结论

1) 粉末活性炭(PAC)吸附 + 混凝沉淀过滤工艺水力停留时间是最为关键的控制因素。一般来说,吸附时间不得低于 1 小时,沉淀时间不得小于 2 个小时。

2) 活性炭投加量为 20-30mg/L 时,DOC 的去除率较低约 10%,主要表现为对低分子量有机物质的吸附;混凝沉淀主要表现为对多聚糖和腐殖酸等高分子量物质的去除,DOC 去除率约 30%。整套工艺对 DOC 的去除可以达到 40%,可以满足回灌水水质要求。

3) AOX 的去除完全依靠活性炭的吸附,混凝沉降几乎对其没有什么作用,而对于磷酸根则恰好相反。而对总氮的有限的去除能力可能是因为在活性炭吸附池搅拌而发生吹脱作用的结果。

4) 在回灌池里,水质一般会有所发生变化。绿藻对 DOC 的贡献可达 1-5mg/L,基本上是可生化降解的多聚糖和腐殖酸;其它水质指标的变化可能是由于蒸发、降雨等多种因素综合作用的结果。

5) 从水质指标来看,回灌水主要被粘土层吸附住,还没有到达第一个含水层。

参考文献

1. Peter Fox, Sandra Huston, Paul Westerhoff, Joerg E. Drews, Margaret Nellor, Robert Arnold, Gary Amy, Martin Reinhard, et al. Investigation of Soil - Aquifer Treatment for sustainable water reuse, research project summary, 2001 National Center for Sustainable Water Supply (NCSWS).
2. Joerg E. Drews and Peter Fox. Behavior and characterization of residual organic compounds in wastewater used for indirect potable reuse, Wat. Tech. Vol. 40, No. 4-5, pp.391-398, 1999
3. Gary Amy, L. Gray Wilson, Aimee Conroy. Fate of Chlorination byproducts and nitrogen species during effluent recharge and soil aquifer treatment (SAT), Water Environment Research, 65(6) 726.
4. 皮运正, 吴天宝, 陈维芳. 土壤含水层处理可吸附有机卤化物的实验研究[J]. 重庆环境科学, 2000, 22(1): 31-33.